

جمعية المهندسين الملكية المصرية

النشرة السابعة من السنة الرابعة عشرة

١٢٠

محاضرة

عن الطرق الحديثة

لاختبار تربة الأساسات

ألقاها

الأستاذ وليم سليم حنا

دكتور فى الفلسفة — عضو بجمعية المهندسين الانشائيين

عضو منتسب بالجمعية

ألقيت بجمعية المهندسين الملكية المصرية

بتاريخ ٢٣ مارس سنة ١٩٣٤

مطبعة الاعتماد بشارع حسن الاكبر لصاحبها محمود الخضرى



جمعية المهندسين الملكية المصرية

النشرة السابعة من السنة الرابعة عشرة

١٣٠

محاضرة

عن الطرق الحديثة

لاختبار تربة الأساسات

ألقاها

الأستاذ وليم سليم حنا

دكتور فى الفلسفة — عضو بجمعية المهندسين الانشائيين

عضو منتسب بالجمعية

ألقيت بجمعية المهندسين الملكية المصرية

بتاريخ ٢٣ مارس سنة ١٩٣٤

مطبعة الاعتماد بشارع حسن الاكبر بمصر

الطرق الحديثة

لاختبار تربة الأساسات ولتقدير هبوط المنشآت

مقـــــدمة

(١) ان اختبار تربة ما لمعرفة صلاحيتها للمنشآت التى تقام عليها من أهم المسائل التى تواجه المهندسين المشتغلين بالمنشآت على اختلاف أنواعها وفى محاضرة هذا المساء سوف أحاول أن أوضح الاتجاه الجديد الذى سار فيه هذا الفرع من الهندسة والذى يرمى إلى وضع بحث أساسات المنشآت على أسس علمية عملية على مثال سائر فروع الهندسة وأرى لزاماً علىّ فى مبدأ الأمر أن أؤكد أن هذا البحث ليس بواحد من تلك الأبحاث النظرية التى لا تمت للمسائل الهندسية بعلاقة ما بل هو قائم على تجارب عملية على المنشآت وقياس هبوطها الفعلى مما لا يترك مجالا للشك بأنها ترمى إلى خدمة الهندسة العملية وسترون فى ما يلى أن هذه الأبحاث قد اعترفت بأهميتها الهيئات الهندسية فى عدد كبير من البلاد .

لهذا وما لهذا الموضوع من الأهمية بمصر لطبيعة تربتها الخاصة رأت ادارة مدرسة الهندسة الملكية أن تساهم فى هذا الموضوع فأنشأت معملا خاصاً بأبحاث الخرسانة وتربة الأساسات وهناك لجنة مؤلفة من الدكتور أندريا والاستاذ محمد عرفان بك والأساتذة جيرنج وحسين حفنى

وعزيز كمال والمحاضر القائم بالعمل فيه تشرف على هذا العمل وقد انضم إلى معمل أبحاث التربة المسيو تشيبوتاريف وهو أحد الذين اشتغلوا فى هذا الموضوع فى بحث هبوط مبنى المحكمة المختلطة وأنا مدين له باعداد كثير من الرسومات التى ستعرض عليكم فى هذه المحاضرة كما أنا مدين لتقرير جمعية المهندسين الأمريكية الذى نشر سنة ١٩٣٣ من اللجنة المؤلفة لبحث موضوع الأساسات وضغط الأتربة .

وسأقسم المحاضرة كما يأتى :

(أولا) نبذة مختصرة عن تاريخ نشأة هذه الأبحاث الجديدة .

(ثانياً) الخواص الطبيعية والميكانيكية للتربة التى يعتمد عليها فى هذه الأبحاث وأهم التجارب والأجهزة

(ثالثاً) النظريات الحسابية التى يعتمد عليها لمعرفة طرق انتقال الضغط من نقطة أو سطح داخل التربة إلى أى نقطة أخرى تحت هذا هذا السطح وبالتالى حساب هبوط التربة تحت ضغط معين من منشأ مقام عليها .

(رابعاً) كيفية استخراج عينات من التربة فى حالتها الطبيعية لحساب خواصها الميكانيكية وكيفية مراقبة هبوط المنشآت .

(خامساً) تطبيق ما تقدم على بعض المنشآت الكبيرة فى أمريكا وأوروبا ومقارنة الهبوط النظرى والفعلى .

(سادساً) بيان لأخطاء طرق اختبار التربة المعروفة وأهمية هذا البحث بالنسبة لتربة القطر المصرى وضرورة تعاون المصالح الهندسية

مع هذا المعمل الجديد لالقاء ضوء جديد على المسائل المجهولة فى موضوع التربة .

النقطة الأولى — تاريخ نشأة هذا البحث

(٢) ان طرق اختبار التربة المعروفة الآن متأخرة عن سائر فروع الهندسة بما لا يقل عن ٥٠ سنة وفى ذلك يقول الأستاذ ترزاكى فى كتابه (ميكانيكة تربة الأساسات) انه بينما لا يمكن التصور أن تصمم المنشآت فى الوقت الحاضر بدون قيام علمى اختبار المواد من ناحية وحساب مقاومة المنشات من ناحية أخرى فمن المتناقضات الغريبة ألا يقوم إلى جانب علم الأساسات ما يساعد على إعطاء المهندس فكرة ثابتة عن الأساس الذى يستعمله كالفكرة فى ذهن مهندس الكبارى أو القناطر عن مقاومة الصلب والطوب من ناحية وأقصى الاجهادات على الكمرة الرئيسية أو على قطاع فى إحدى أكتاف القنطرة من الناحية الأخرى — هذا ويلاحظ أنه لا توجد أى وسيلة لمقارنة تربة بأخرى مقارنة عددية كمقارنة عينتين من الطوب أو الدبش ولا بين تربة طينية فى بلاد ما بتربة طينية فى بلاد أخرى .

ولا ريب أن لهذا النقص أسباب معقولة فان الاختلاف الكبير بين أنواع التربة واختلاف خواص التربة الواحدة وصعوبة تقدير ما يحدث فى هذه التربة تحت تأثير الضغط الواقع عليها ولأن توزيع الضغط داخل التربة يتم فى ثلاث اتجاهات متعامدة كل هذه الأسباب دعت إلى

الاكتفاء بطرق الاختبار الحالية واستعمال معاملات أمن غير منطقية تصيب أحياناً وتخطىء أخرى ويضاف إلى ذلك خوف المهندس والمقاول أن يقترن منشأ قاما بتصميمه وإقامته بكلمة « هبوط » مع أن كل منشأ لا بد أن « يريح » قليلا أو كثيراً وعلى ذلك تضيع ثمرة الخبرة الماضية بعدم رصد هبوط المنشآت الكبيرة التي كانت موفقة التصميم .

كل هذا دعا جمعية المهندسين المدنية في أمريكا وفي السويد بدون ارتباط سابق بينهما إلى البدء بدراسة هذا الموضوع حوالي سنة ١٩١٧ ولكن نجاح هذه الدراسة وان كان محدوداً إلا أنه زاد عزيمة هذه الهيئات في بحث الموضوع وفي حوالي هذا التاريخ قام الأستاذ ترزاكي بمفرده بأبحاث نظرية وعلمية وعملية مطولة ثم نشر مؤلفه العظيم ميكانيكة أساسات المنشآت في سنة ١٩٢٥ وهو أعظم مؤلف نشر للآن في هذا الموضوع ويعتبر هذا الأستاذ بحق منشىء هذا العلم الجديد وقد صادف هذا البحث معارضة شديدة في مبدأ الأمر وانما يكفي أن أذكر أن هذه الأبحاث تقوم اليوم بأعبائها الحكومات المختلفة في النمسا وألمانيا والسويد والجمعيات الهندسية في سويسرة والولايات المتحدة بل ان من الشركات الخاصة بالأساسات من أقام معامل خاصة بها للانتفاع بها في أعمالها الخاصة كما فعلت شركة روديو بميلانو .

ويمكن تلخيص هذا الاتجاه الجديد بأنه يتبع نفس الطريقة التي تتبعها العلوم الهندسية من قبل فيبدأ بتحديد خواص التربة الميكانيكية والطبيعية كما حدث من تحديد خواص المواد الهندسية كالصلب والحديد

والخرسان فى المنشآت ثم يتناول دراسة توزيع الاجهادات داخل التربة وأثر الاجهاد كما حدث من اتساع علم حساب المنشآت لكل التطور السريع فى أنواع المنشآت الخرسانية والمعدنية ثم انتهى بعمل مقارنات مطولة لايجاد معاملات عملية يمكن استعمالها مع المعادلات النظرية على مثال ما يعمل فى المنشآت من استعمال معادلات تجريبية ذات أسس نظرية تقرب وجهتى النظر العملية والنظرية .

النقطة الثانية — أهم الخواص الميكانيكية والطبيعية للتربة

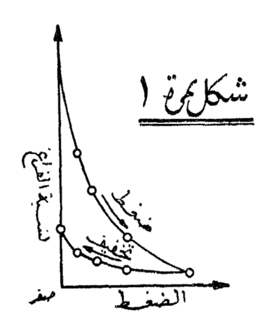
(٣) أهم خواص التربة الطبيعية التى لها علاقة بهبوط المنشآت المقامة عليها هى : —

(ا) قابلية التربة للانضغاط (ب) الاحتكاك والتماسك (حـ) قابلية التربة للتشبع بالمياه وخروج المياه من مسامها (ى) حدود البلولة (هـ) حجم الحبيبات .

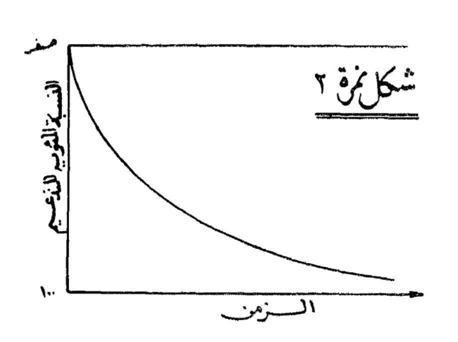
(ا) يمكن دراسة قابلية التربة للانضغاط بقياس ما يطرأ على حجم جسم معين منها من التغيير نتيجة وضع ضغط معين عليها فاذا ضغطت تربة مكونة من ذرات كبيرة منفصله كالتربة الرملية فيلاحظ أنها سواء كانت مشبعة بالمياه أو غير مشبعة فان انضغاط التربة يتم بسرعة لأن المياه أو الهواء الموجود بين الحبيبات يستطيع أن يخرج سريعاً ويتم انضغاط التربة حالا أما فى التربة الطينية فان الأمر على عكس ذلك فان ضغط التربة الطينية المشبعة بالمياه يقاوم فى مبدأ الأمر بواسطة المياه الموجودة

داخل الحبيبات الرفيعة جداً ثم تأخذ المياه فى الانضغاط والخروج تدريجياً من المسام الرفيعة وقد يقتضى انضغاط التربة تماماً عدة سنوات وتحدد العلاقة ما بين مقدار الضغط على تربة طينية ونسبة الفراغ الموجود بين الذرات بواسطة منحن يبين انضغاط التربة ومعامل الانضغاط هو العدد الذى إذا ضرب فى شدة الضغط أعطى قيمة نسبة الفراغ فاذا رمزنا له بالحرف e وكانت نسبة الفراغ المئوية المقابلة لهذه المعامل هى n فأن $e = \frac{n}{1-n}$ ويسمى انضغاط التربة المكونة من ذرات رفيعة مشبعة بالمياه بتدعيم التربة Consolidation ويمكن توضيح تدعيم تربة ما بواسطة منحن إحداثياته الرأسية نسبة الفراغ n وإحداثياته الأفقية مقدار الضغط (شكل ١) وفى نفس الوقت يمكن رسم بيانى خاص لكل ضغط على حدة يبين العلاقة ما بين الزمن ومقدار الانضغاط فاذا عرضت عينة مثلا من التربة الطينية لضغط ثلاث كيلو جرامات على السنتيمتر المربع فانضغطت أربع ملليمترات فى مدة ثلاث أيام ولم تنضغط بعد ذلك فيرسم منحنى يبين مقدار الانضغاط بعد كل زمن معين من وضع الضغط بأن تكون مثلا نصف ملليمتر بعد ساعة ثم نصف ملليمتر آخر بعد ساعة ونصف ثم نصف ملليمتر آخر بعد أربع ساعات وهكذا لما لذلك من الأهمية لمعرفة سرعة هبوط المنشأ المقام على تربة من هذا النوع (شكل ٢) ومعامل التدعيم هو المعامل الذى يحدد نسبة التدعيم تحت حمل معين لنسبة التدعيم الكلى للتربة الذى ليس بعده تدعيم آخر وسنرمز له بالحرف c .

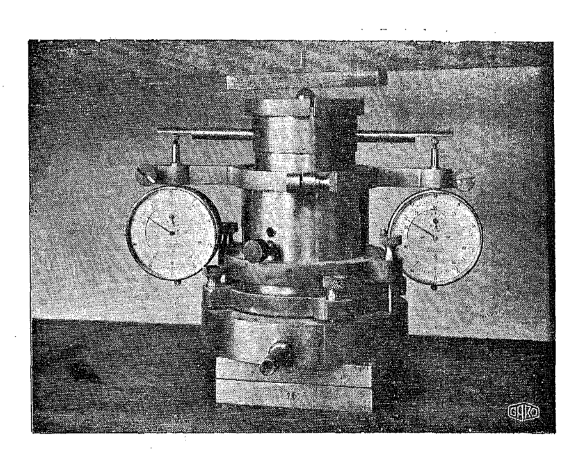
وأهم الأجهزة الجهاز الذى استنبطه ترزاكي وهو مكون من اسطوانة



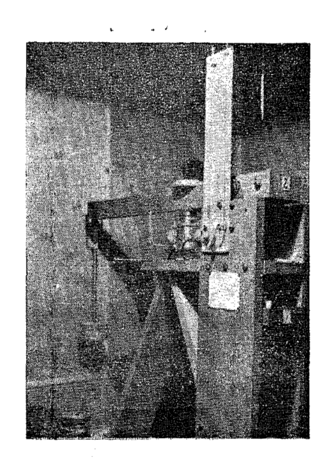
شكل نمرة ١
نسبة الفراغ
ضغط
تخفيف
صفر
الضغط



شكل نمرة ٢
صفر
النسبة المئوية للتدعيم
١٠٠
الزمن



شكل ٣ ا



شكل ٣ ب

داخلها مكبس (شكل ٣ ا ، ٣ ب) وتوضع العينة بين اسطوانتين رقيقتين من حجر خاص تمر فى مسامة المياه ويقاس انضغاط التربة بواسطة مقياس زيّس يقرأ إلى ١/١٠٠ من المليمتر ولما كانت عينة التربة فى هذا الجهاز ذات قطاع بمساحة الاسطوانة فان جوانبها تساعد على تصغير قيمة انضغاط التربة عنه فى حالتها الطبيعية فهناك جهاز آخر لقياس انضغاط التربة بدون أن تلمس العينة جوانب الاسطوانة (شكل ٤)

(٤) — (ب) تتوقف مقاومة التربة للقص على أمرين أحدهما التماسك الحقيقى بين الذرات عند أسطح تقابلها كما فى الأجسام الصلبة والثانى التماسك الظاهرى أو المؤقت الناشىء من الشد السطحى الناتج من وجود مياه فى الفراغ بين حبيبات التربة مثال ذلك أنه إذا بللت كمية من الرمل استطاعت الاحتفاظ بتماسكها كجسم فاذا وضعت داخل وعاء به ماء انعدم الشد السطحى وانعدم التماسك ولاختبار التربة فى القص جهازان أحدهما استنبطه كرى وهو ألمانى والاخر كزاجراندى وهو أمريكى وفى هذا الجهاز يمكن فصل مقاومة التربة للقص الناتجة من احتكاك الذرات عن المقاومة المسببة من التماسك وفى هذا الجهاز توضع ست عينات من التربة بطريقة خاص فى ست جهازات وتعرض لاجهادات قص مباشرة بحيث متى قرىء أثر الاجهاد على مقاييس خاصة أمكن معرفة مقاومة التماسك ومقاومة احتكاك الذرات (أنظر شكل ٥) .

(حـ) قابلية التربة لمرور المياه أمر مشاهد فى الطبيعة كما أن هناك تربة لا تستطيع أن تمر المياه بين ذراتها فاذا وضعت عينة من التربة فى

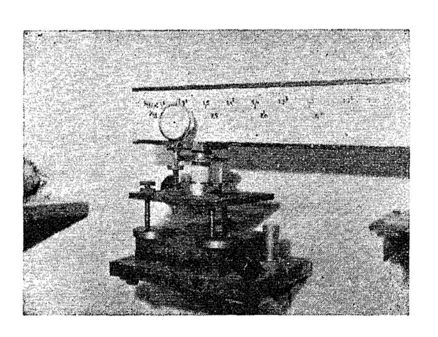
اسطوانة خاصة وعرضت لضغط مائى معين لمدة من الزمن وكان التصرف معلوماً فان معامل التصرف « K » يمكن استنتاجه مباشرة من المعادلة المعروفة .

$$Q = k\ i\ A\ t$$

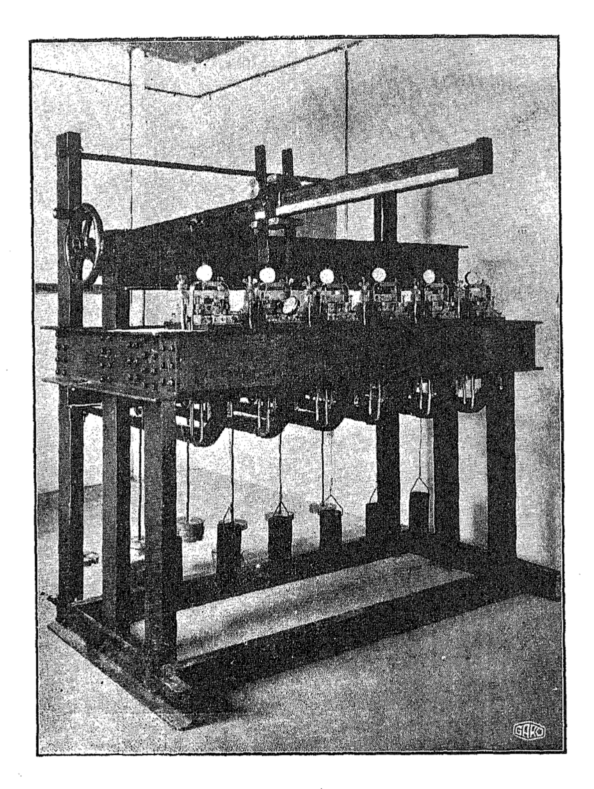
حيث Q = التصرف ، i = الميل الايدروليكى ، A = قطاع الاسطوانة ، t = الزمن

(ى) حدود البلولة

يمكن فهم معنى هذه الخاصية من الحقيقة الآتية — لو كانت نسبة الماء فى عينة من التربة الطينية كبيرة فان التربة تكون أشبه بسائل مائع لا يحتفظ بشكله فاذا أنقصت نسبة الماء تدريجياً فتصل التربة الى حالة plastic تحتفظ فيها بشكلها ولكنها لا تستطيع مقاومة تغييره لو ضغط عليها قليلا فاذا استمر نقص نسبة الماء تنكمش التربة وتصبح جسما قريباً من الجسم الصلب ويظهر بها تشقق كنتيجة للانكماش فاذا وضعت فى فرن حتى تبخرت كل المياه الموجودة داخلها فانها تصبح جسما فاتح اللون غير قابل لأى انكماش جديد وتسمى نهاية المرحلة الأولى و بدىء المرحلة الثانية حد السيولة ونهاية المرحلة الثانية و بدىء المرحلة الثالثة حد الليونة ونهاية المرحلة الثالثة و بدىء المرحلة الأخيرة حد الانكماش ومعرفة خواص التربة من حيث تغيير صفاتها الطبيعية بحسب نسبة المياه داخلها ذو أهمية فى الحالات التى تتعرض التربة لارتفاع وانخفاض فى مستوى مياه الرشح وهناك أجهزة خاصة لقياس هذه الحدود



شكل ٤



شكل ٥
جهاز كازاجراندى للقص

(هـ) حجم الحبيبات ذو أهمية كبيرى فى خواص التربة فيمكن تقسيم التربة من هذه الناحية إلى : —

(أولا) التربة الصخرية وهى فى مقاومتها أشبه بجسم مرن ذو قطاع عظيم المساحة

(ثانياً) التربة الرملية المكونة من حبيبات مستديرة لا تقاوم الشد أو القص ونسبة الفراغ فيها لا تزيد عن ٥٠٪ ضعيفة التماسك سريعة القابلية للانضغاط وتصبح مدعمة بعض وضع الضغط عليها مباشرة تقريبا

(ثالثاً) التربة المتماسكة المكونة من ذرات رقيقة جداً كالطينية ذات مقاومة للقص والشد قابلة للتشبع بالمياه والاحتفاظ بها مدة طويلة بعد ضغطها وهى إما طبقات قديمة قد تدعمت إلى حد كبير أو صغير كنتيجه للتغييرات الجيولوجية وارتفاع وانخفاض مستوى مياه الرشح لآلاف من السنين وإما طبقات حديثة التكوين قابلة لانضغاط كبير وهى فى بعض الأحيان قريبة من التربة الرملية

(٣) حساب انتقال الضغط داخل التربة

(٥) بالرغم من كثرة الأبحاث التى عملت فى هذا الموضوع فان الأساس لذلك لا يزال معادلة استنبطها بوسنسك منذ ٥٠ سنة لاعطاء مقدار الضغط الرأسى والأفقى فى اتجاهين متعامدين عند أى نقطة تبعد مسافة « r » عن موضع ضغط قوة مركزة Q تبعد عن النقطة التى يحسب فيها الضغط بمقدار x ، y أفقياً ، « z » رأسياً كما ترى فى الشكل « ٦ » وهى

$$p_2 = \frac{3}{2\pi} \frac{Q}{Z^2} \frac{1}{[1 + (\frac{r}{z})^2]^{2/5}}$$

$$p_x = \frac{3}{2\pi} \frac{Q}{Z^5} + x^2$$

$$p_y = \frac{3}{2\pi} \frac{Q}{Z^5} + y^2$$

ولما كان توزيع الاجهادات يتم فى كل مستوى حول مركز القوة Q فان المحل الهندسى للاجهادات المتساوية لا بد أن يكون سطوح دوران

وعكن تطبيق هذه المعادلة على الأحمال المنتظمة وغير المنتظمة على اعتبار أنها مجموعة من أحمال مركزة متعددة

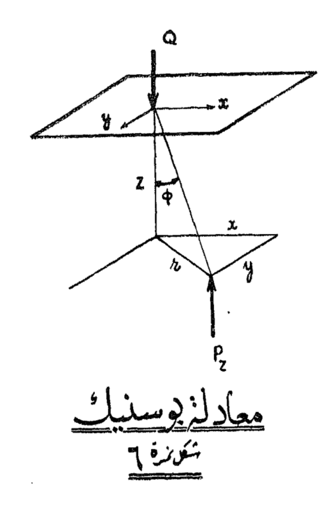
وإذا كان الحمل موزعا بانتظام وقدره « p_o » على الوحدة المربعة فيمكن البرهنة على أن الأجهادات الرأسيه فى نقطه ما يمكن حسابها من المعادلة التالية (أنظر شكل ٧) .

$$p_z = \frac{p_o}{2\pi} \left[\sin^{-1} \frac{2bz}{r_1 r_2} + \frac{2bz}{r_1^2\, r_2^2} (z^2 - x^2 + b^2) \right]$$

غير أن استعمال هذه المعادلات كان موضع شك لأنها استنبطت لحالة جسم مرن متجانس.ولأنه لم تعمل تجارب تحقق إمكان استعمال هذه المعادلة لذلك قام كثيرون بعمل أبحاث فى أنواع مختلفة من التربة ولكنها أسفرت عن النتائج الآتيه :

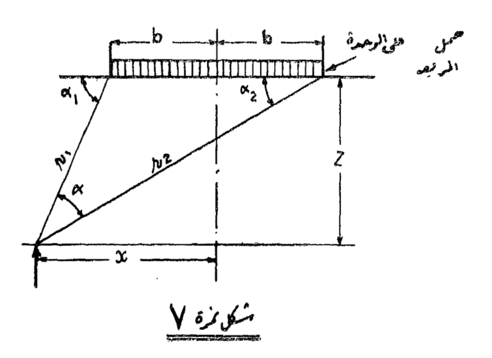
(أولا) أنه ممكن تحقيق هذه المعادلة فى الأجسام المرنة .

(ثانياً) أنه ممكن تحقيق هذه المعادلة فى التربة الرملية تحت المنشأ

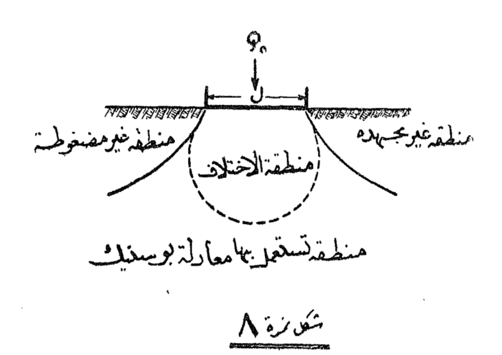


معادلة بوسنيك

شكل نمرة ٦



شكل نمرة ٧



منطقة تستعمل بها معادلة بوسنيك

شكل نمرة ٨

سطح الرمل

منطقة غير مجهده

٪٢٢

٪١٠٠

٪٨٠

٪٦٠

٪٤٠

٪٢٠

٪١٠

٪٥

٪٣

٪٢

٪١

٠,٦٠

١,٠٠

١,٥٠

توزيع الضغط في تربة رمليه

شكل نمرة ٩

ما عدا المنطقة الواقعة تحت المنشأ مباشرة لعمق يتراوح من ٠٫٩٥ إلى ١٫١ متر وسميت هذه المنطقة « منطقة الاختلاف » وأهم الأبحاث التى عملت فى هذه الناحية أبحاث كوجلر وشيدك بألمانيا ، أندريا وجوبر وهوجى بزوريخ بسويسرا وقد أثبتت هذه التجارب وجود منطقة خالية من الاجهادات خارج قاعدة المنشأ ثم وجود « منطقة الاختلاف » ثم تحقيق معادلة بوسنسك فى ما عدا هاتين المنطقتين وقد قام كوجلر وشيدك معاً باستنباط معادلة تصلح لايجاد الاجهادات فى منطقة الاختلاف من المعادلة التالية (أنظر شكل ٨ ، شكل ٩) .

$$p_z = \frac{3Q_o}{2\pi z^2} \frac{(\cos.\varphi - \cot\varphi_o \sin\varphi)\cos.^4\varphi}{(1-\cos\varphi_o)}$$

(ثالثاً) ان سبب وجود منطقة الاختلاف ناتج من امكان هروب الرمل أفقياً تحت تأثير الضغط الرأسى فى الأجزاء العليا حيث الضغط الرأسى صغير فاذا ما وصلنا إلى طبقة أوطأ من سطح الأرض بنحو متر ونصف أصبح هروب الرمل أفقياً ليس بالسهل نظراً للضغط الرأسى وبذلك نرى ان معادلة بوسنسك ممكنة التطبيق .

(رابعاً) يستنتج من التجارب التى عملت على التربة الرملية ان تطبيق معادلة بوسنسك ينتظر أن يكون تاماً فى التربة الطينية طالما أن ليس هناك تربة طينية مائعة ممكن أن تهرب أفقياً .

وقد عملت عدة محاولات للقيام بتجارب على التربة الطينية ولكنها فشلت إذ أن مجرد وضع أجهزة قياس الضغط داخل التربة كاف لا يغير

معالم التربة ومقاومتها أما فى حالة الرمل المكون من حبيبات منفردة قليلة التماسك فانه كان من السهل عمل تجارب تمثل حالة التربة كما هى .

وقد خطر فى بال المحاضر بالنسبة للطمى الكبير الذى يحدث فى أثناء الفيضان وبعد انتهائه فى بعض الجهات وضع أجهزة خاصة فى هذه المناطق أثناء انخفاض النيل ثم القيام بتجربة التربة بعد هبوط النيل ولو أن رواسب النهر أكثرها مواد رملية إلا أن مجرد مقارنتها بنتائج التربة الرملية البحتة كفيل بالقاء بعض الضوء على ما يحدث فى التربة الطينية التى بحكم طبيعتها قريبة من فروض معادلة بوسنسك .

وقد عملت عدة معادلات على نماذج من السلوليد والأبونيت وعرضت لضغط ومررت فى هذه النماذج أشعة قطبية polarised light فكانت النتيجة أن نتائج التجارب اتفقت مع هذه المعادلة اتفاقاً يكاد يكون تاماً ويضاف إلى ما تقدم أن التجارب التى عملت على منشآت حقيقية مقامة على تربة طينية والتى حُسِبَ هبوطها نظرياً بهذه المعادلة اتفقت إلى حد كبير مما جعل استعمال هذه المعادلة فى التربة الطينية مؤدياً إلى نتائج حسنة .

(خامساً) أثبتت هذه التجارب بالصدفة نتائج أخرى هامة فيما يتعلق بتوزيع الضغط تحت المنشأ مباشرة تغاير ما يتبع فى حساب هذا الضغط وملخص هذه النتائج أنه إذا كان الضغط تحت المنشأ مباشرة مقداره (١) كيلو على السنتيمتر المربع محسوباً من واقع الأحمال الحية والميتة الواقعة على قاعدة أساس المنشأ فان الضغط الحقيقى يختلف كل

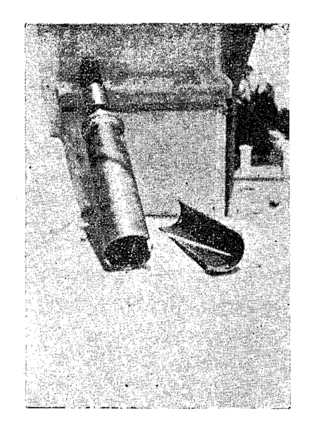
الاختلاف عن هذا حسب نوع التربة ففى التربة الرملية يكون أقصى الضغط فى منتصف القاعدة وقد يصل إلى « ١٣ » كيلو على الوحدة المربعة ويقل جداً عن « ١ » فى أطراف المنشأ أما تحت التربة الطينية فيحدث العكس فان أكبر الضغط تحت نهايات المنشأ وأقله فى الوسط ولا يزال المجال متسعاً للقيام بأبحاث على منشآت مختلفة الشكل والمساحة لايجاد الاختلافات المتنوعة للضغط الواقع تحت المنشأ مباشرة . وهذا لا علاقة له بما سبق شرحه خاصاً بالطبقات من التربة الواقعة تحت هذا المستوى بكثير أو قليل .

(٦) (سادساً) أثبتت هذه التجارب أن المنشآت المقامة على خوازيق تختلف باختلاف مساحة قاعدة المنشأ فاذا كانت صغيرة ساعدت الخوازيق على توزيع الحمل على مساحة كبيرة أما إذا كانت المساحة كبيرة فان الخوازيق لا تساعد كثيراً على ذلك إلا إذا استندت فى نهاياتها على تربة كبيرة المقاومة وقد يحدث أن تنقل الخوازيق الحمل إلى أعماق كبيرة ولكن يصدف أن تكون هناك طبقات ضعيفة قليلة السمك لا يعنى بها المهندس وعند انتقال جزء من هذه الأحمال إلى هذه الطبقة مهما كان ذلك الجزء قليلا تأخذ فى الانضغاط أو فى الهروب جانبياً وتسبب هبوط المنشأ ولذلك قد يكون استعمال الأساس المشترك الشبكى على عمق قليل من سطح التربة أكثر أمنا حيث لا يصل توزيع الاجهادات إلى الطبقة الضعيفة كما لو استعملت خوازيق طويلة .

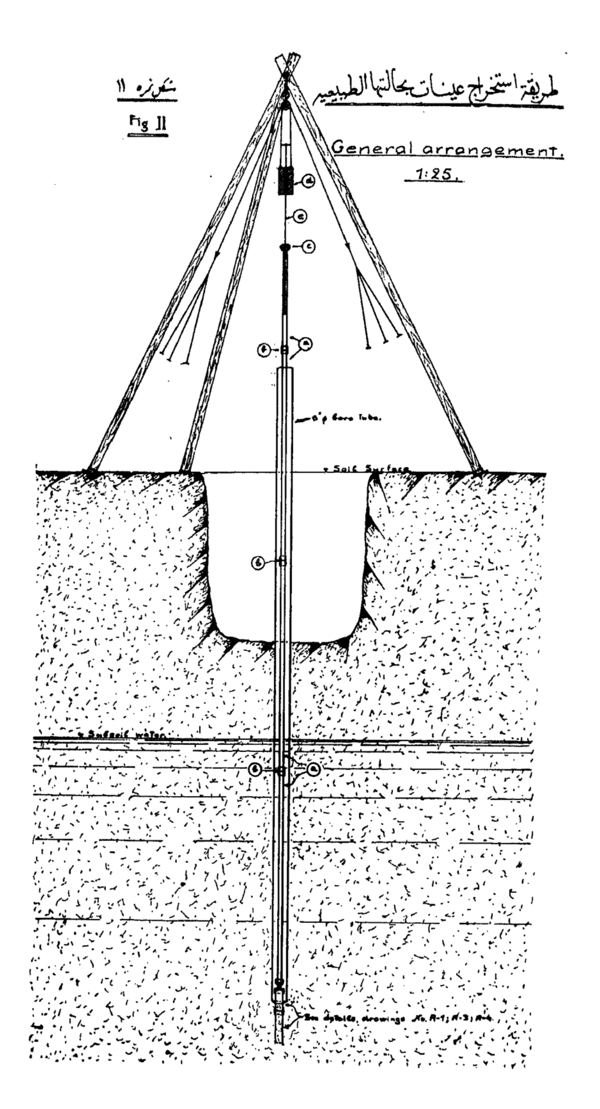
رابعا — استخراج عينات من التربة
وطرق مراقبة ترييح المنشأ

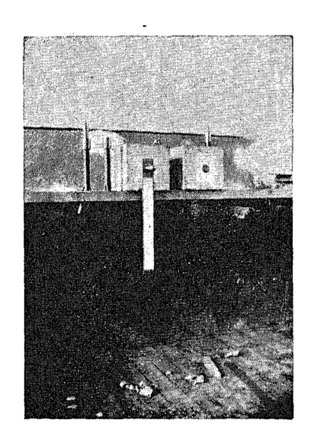
لاستخراج عينات من التربة فى حالتها الطبيعية تستعمل مواسير خاصة بطول ٤٠ سنتيمتر مقلوظة الى وصلات باطوال مختلفة وتنزل هذه المواسير الخاصة داخل ماسورة الدق العادية المستعملة الآن فى استخراج عينات بواسطة البريمة أو خلافه فاذا كانت التربة متماسكة فالماسورة الخاصة عبارة عن ماسورة قطر ٤ بوصة لها حروف حادة وباعلاها بلف صغير وتكون ماسورة الدق العادية ٦ أو ٨ بوصة فاذا اريد استخراج عينة على منسوب من ١٢ الى ١١٫٦٠ تنزل ماسورة الدق العادية إلى منسوب ١٢ ثم ينزل الجهاز الخاص إلى منسوب ١٢ ويدق دقاً خفيفاً إلى منسوب ١١٫٦٠ ثم ترفع وصلاتها الى أعلى وتبقى بسبب البلف الموجود محتفظة بكل خواصها ولما كانت الماسورة الخاصة عبارة عن نصفى ماسورة (شكل ١٠) فيمكن بكل سهولة استخراج العينة ثم دهانها حالا بفرشة عادية بخليط من السيرازين والبرافين المغلى لدرجة السيولة فاذا ما لمس العينية الباردة استحال الى طبقة رقيقة صلبة لا تنفذ من داخلها المياه ولا الهواء وتحتفظ بخواصها الحقيقية كما هى الى ان تجرب فى المعمل وترون هنا عينات استخرجت من ثلاث شهور مغطاة بهذه المادة وعند قطعها بسكين تظهر كانها استخرجت من لحظات وليس هناك أى تفاعل ما بين هذه المادة والتربة .

ولقياس هبوط المنشأ تبنى قطع نحاسية داخل المنشأ وسطحها الخارجى

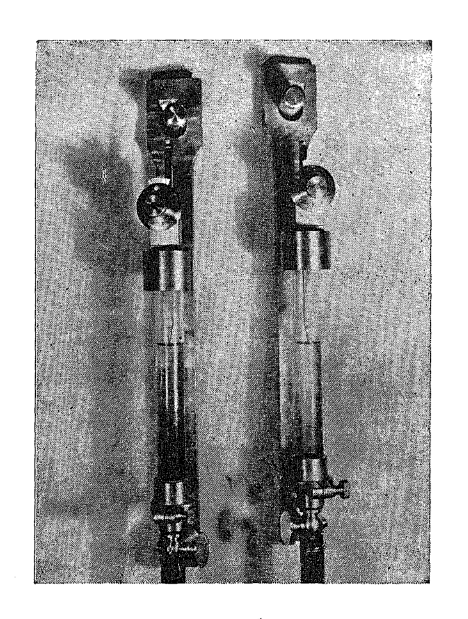


شکل ۱۰


شكل نمره ١١
Fig II
طريقة استخراج عينات بحالتها الطبيعية
General arrangement.
1:25.
Soil Surface



شکل ۱۱



شکل ۱۲

تساواة سطحه الخارجى ولها غطاء مقلوظ وعند عمـل ميزانيات دقيقة تستعمل قامة من « الدراليوم » مقسمة الى نصف ملليمتر وتعلق بواسطة اسطوانة صلب دقيق الصنع مقلوظه فى أحد طرفيها وتقلوظ داخل القطعة النحاسية بعد رفع غطائها بمفتاح خاص .

ولقياس ترييح أى نقطة فى داخل المنشأ مثلا بالنسبة لنقطة خارجة ولسهولة عمل الميزانية بأقل عناء ممكن يستعان بميزان مائى دقيق شكل ١٣ لمقارنة ترييح نقطة بالنسبة لاخرى وهو يقرأ الى نصف ملليمترا أيضا وعند تمام الميزانية تسحب الاسطوانات الصلب وتغطى القطع النحاسية جيدا وتقفل الى حين عمل ميزانية تالية ولا بد من الاستعانة على الاقل بروبير واحد لا يتأثر بالهبوط ويعمل عليه « شيشنى » من حين لآخر

وقد قامت ورشة مدرسة الهندسة بعمل المواسير الخاصة والقطع النحاسية وتوابعها فجاءت مساوية للمستورد من الخارج أن لم تفضلها .

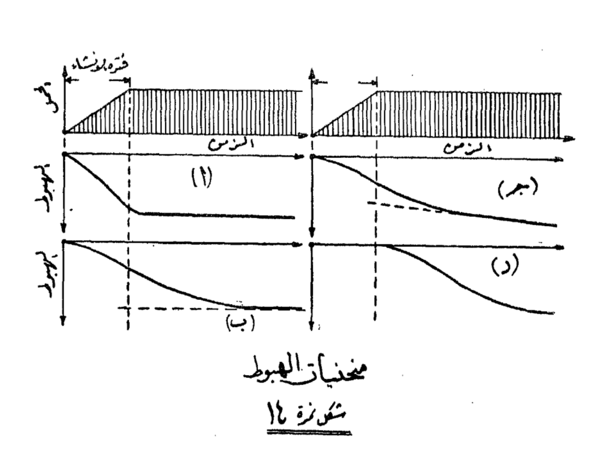
ومن مزية استعمال هذه القطع النحاسية الصغيرة أنها لا تشوه شكل المبانى الموضوعة فيها ومتى انتهت عملية الميزانية فيوضع الغطاء فى مكانه بحيث لا يسهل فتحه الا بمفتاح خاص .

خامسا — أمثلة من تطبيق الطرق الحديثة على منشآت مقامة فعلا

لـكى يسهل « تشخيص » أنواع هبوط المنشآت تجد فى شكل ١٤ أربع أنواع من المنحنيات الهبوط — والزمن فيلاحظ أن المنحنى « ا » يمثل

الهبوط والزمن لمنشأ مقام على تربة رملية فتى تم المنشأ فان مقدار الهبوط يظل ثابتا باستمرار أى أن تدعيم التربة يتم بتمام المنشأ كما وضح ذلك فى ما سبق

ويمثل المنحنى ب ، ح الهبوط والزمن لمنشأ يقام على تربة طينية وهنا يجب أن نفرق بين سببين أساسيين من الهبوط أحدهما ناتج من تدعيم التربة والثانى ناتج من « هروب » طبقات ضعيفة منها هروبا جانبيا افقيا وقد تكون له محصلة رأسية أيضا فاذا فرضنا مثلا أن تربة طينية متماسكة تحتها على عمق ما تربة طينية ضعيفة أو « روبة » فان الطبقات المتماسكة تنضغط وأما الطبقات الضعيفة فتى وصلت الاجهادات عليها الى حد ما — ويغلب أن يكون ذلك الحد صغيرا — فان هذه الطبقات تأخذ فى الهروب أفقيا من تحت المنشأ الى المناطق المجاورة وبالتالى تسبب هبوط المنشأ بسبب ذلك وقد يحدث أن يكون مقدار الهروب صغيرا وفى هذه الحالة يكون هبوط المنشأ ناتجا أغلبه من انضغاط التربة المتماسكة وعلى ذلك ففى شكل ١٤ يمثـــل المنحنى ب الهبوط والزمن لمنشأ مقام على تربة طينية كنتيجة لانضغاط الطبقات فقط (تدعيم التربة) ويلاحظ أن أغلب التدعيم يتم بعد تمام المنشأ بقليل ثم يصبح المنحنى موازيا لاحداثى الزمن أما المنحنى ح فيمثل هبوط المنشأ كنتيجة للهروب الجانبي ويلاحظ فى هذه الحالة أن هبوط المنشأ يستمر لزمن طويل قد يصل الى عدة سنوات كما ترى فى ما بعد ويمكن القول اذن انه اذا أخذ منشأ فى الهبوط واستطاعت أساساته مقاومة الاجهادات الناشئة من الهبوط فانه يمكن استنتاج نوع هبوطه من مقارنته بالمنحنيات ا ، ب ، ح



منحنيات الهبوط

شكل نمرة ١٤

ولم تعمل ابحاث كامله للآن عن تأثير ارتفاع وهبوط مستوى الرشح فى تدعيم التربة أو تأثيرها فى التربة الآخذة فى التدعيم تحت تأثير ضغط منشأ ما وأن كان مثال المحكمة المختلطة يوضح بأن سرعة هبوط المنشأ تزيد قليلا أثناء انخفاض المستوى ولكنه لا يمكن الجزم فى هذه الحالة عما اذا كان ذلك من تأثير الانضغاط أو الهروب وسيعنى معمل اختبار التربة بالمدرسة بهذا الموضوع على وجه خاص لاهميته بمصر .

ويوضح المنحنى « د » مثالا من حالات قليلة الحدوث ولكنها سجلت ثبات المنشأ اثناء بنائه وبعد تمام ذلك بزمن ثم اخذه فى الهبوط بعد ذلك ولم يمكن تعليل هذه الظاهرة للآن .

ولتقدير الهبوط النظرى تعمل تجارب على عينات من التربة تستخرج كل نصف متر أو كل متر حسب الظروف ثم يستخرج من التجارب التى تقام عليها معاملات التدعيم والاحتكاك والتماسك ومعامل قابليه التربه لمرور المياه ويحسب هبوط كل طبقة من هذه الطبقات كنتيجه للاجهادات المحسوبة بمعادلة بوسنسك اثناء أقامة المنشأ وبعد اقامته ثم يراقب المنشأ لمعرفة هبوطه الفعلى ومتى عملت هذه التجارب على عدد كبير أصبح من الممكن ايجاد المعاملات التجريبية التى باستعمالها فى المعادلات النظرية تعطى نتائج عملية ويضاف الى ذلك أن يصبح فى مقدور المهندس أن يفهم ما يحدث فعلا فى التربة التى يقام عليها المنشأ فضلا عن امكان الاحتياط فى الحالات التى لا يكون ميل الطبقات أفقيا .

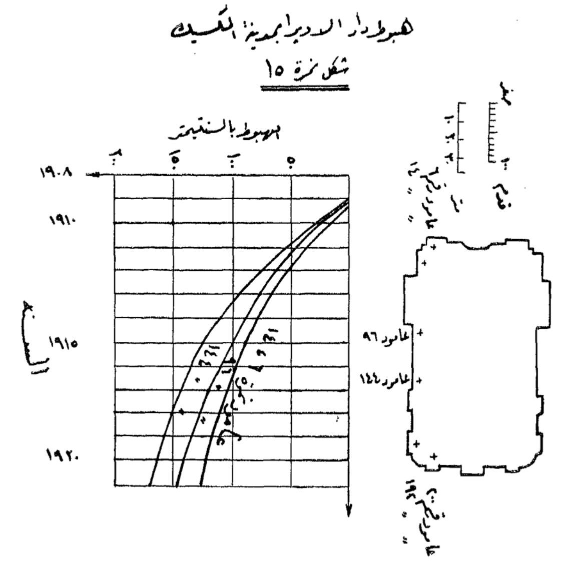
ومما يجب تأكيده فى هذه المرحلة من شرح هذا الموضوع أن هذه

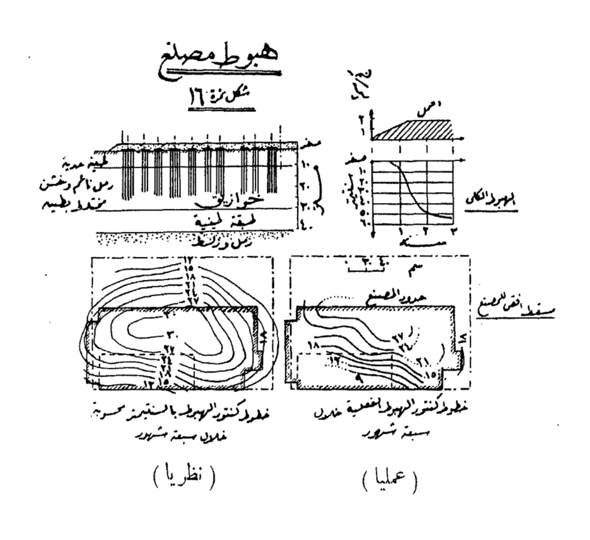
الطرق الحديثة انما تصلح للتربة الطينية المكونة من ذرات رفيعة مشبعة بالمياه أما التربة الخالية منها والتى يمتلىء الفراغ بين ذرات التربة بالهواء فلم يتم بحث طريقة هبوطها بالضبط وأن كان معروفا أنهـا تشبه حالة التربة الرملية المعلوم أن هبوطها سريع ويتم بنهاية البناء ويلاحظ أن الموضوع ليس بهذه البساطة فالتربة الطينية تختلف فى خواصها كثيرا واختبارها وتحديد معاملاتها يحتاجان الى دراسة مطولة وتجارب لبضعة سنوات حتى يمكن الجزم بمقاومتها للضغط الواقع عليها فى كل حاله بدرجة كبيرة من الدقة وأن كانت المعلومات الحالية تعطى نتائج ذات قيمة عملية مهمة .

(أمثلة عملية)

فى شكل ١٥ مسقط أفقى لدار الاوبرا فى مدينة المكسيك عاصمة المكسيك وقد بدىء بانشائه سنة ١٩٠٨ ثم اخذ فى الهبوط منذ سنة ١٩٠٩ حتى هذا التاريخ حتى وصل هبوطه الكلى فى بعض اجزائه الى ١٥٠ سنتيمتر (متر ونصف) وهذه الدار مقامة على تربه أصلها من بقايا تراب حريق بركانى قديم وهى مشبعة بالمياه ولكون هذه التربة لم يتم تدعيمها الطبيعى فان انشاء هذه الدار على هذه الطبقة أدى الى هذا الهبوط العظيم ولما كانت هذه الطبقة ذات عمق كبير فان عمل خوازيق أو توسيع مساحة الاساسات ما كان ليمنع ما حدث فان الهبوط كان يحدث على كل حال وقد عملت حسابات نظرية لهبوط هذا المنشأ فجاءت متفقة مع الهبوط الفعلى اتفاقا حتى فى التفاصيل الخاصة بخطوط كنتور الهبوط فى اجزائه المختلفة

وفى شكل ١٦ قطاع رأسي ومسقطين أفقين لبناء مصنع نحو ١٦٠


هبوط دار الاوبرا بمدينة المكسيك
شكل نمرة ١٥
الهبوط بالسنتيمتر
١٩٠٨
١٩١٠
١٩١٥
١٩٢٠
عامود ٩٦
عامود ١٤٤



هبوط مصنع
شكل نمرة ١٦
خوازيق
طبقة طينية
رمل وزلط
الهبوط الكلى
حدود المصنع
مسقط افقى للمصنع
خطوط كنتور الهبوط بالسنتيمتر محسوبة خلال سبعة شهور
خطوط كنتور الهبوط الفعلية خلال سبعة شهور
(نظريا)
(عمليا)

متر × ١٥٠ متر بنى على خوازيق طولها يتراوح ما بين ١٣ و٢٥ متر وتبلغ قيمة الضغط تحت سطح المنشأ من ١٫٥ إلى ٢٫٥ كيلوجرام على السنتيمتر المربع وتتكون التربة من طبقة من الطمى سمكها نحو عشرة أمتار تحتها طبقة من الرمل الحرش مختلطة بقليل من الطين وسمكها نحو اثنين وعشرين متراً وتحتها طبقة طينية سمكها نحو عشرة أمتار ويليها تربة من الرمل الحرش والزلط وقد دقت الخوازيق حتى وصل أثر الدق فيها طبقاً لاحدى المعادلات المستعملة لهذا الغرض واخترقت الخوازيق طبقة الرمل الحرش العليا ولكن بمجرد تمام المنشأ أخذ فى الهبوط طبقاً لخطوط الكنتور المبينة فى الشكل وذلك لأن الطبقة الطينية الواقعة تحت هذه الطبقة أخذت فى الانضغاط وقد قام الأستاذ ترزاكى بتحليل التربة وحساب الهبوط النظرى ويمكن مقارنة خطوط الكنتور النظرية والفعلية للتحقق من تقاربهما

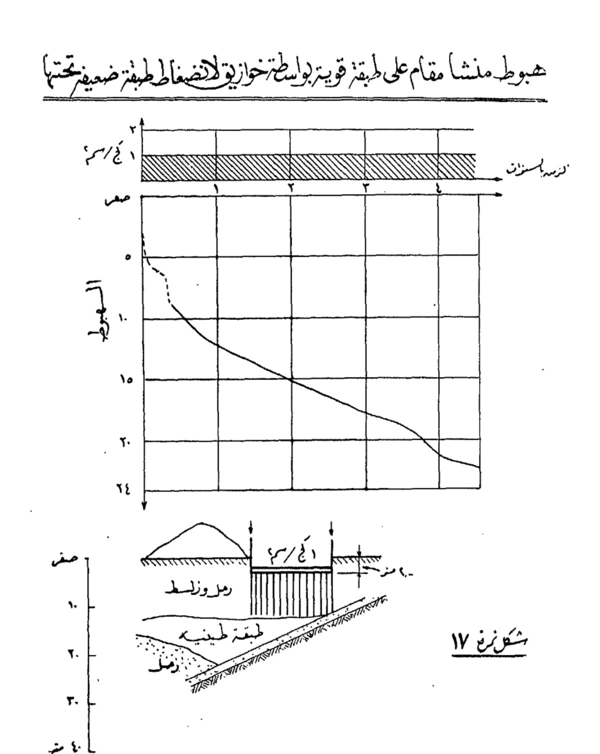
وفى شكل ١٧ منشأ أقيم على خوازيق اخترقت طبقة رملية قوية وقد كان دق الخوازيق صعباً واعتمادا على تحميل خوازيق تجريبية فردية اعتبر الأساس صالحاً ولكن بمجرد تمام المنشأ أخذ فى الانضغاط السريع لأن طول الخازوق جعل مركز توزيع الحمل قريباً من الطبقة الطينية الواقعة تحت الطبقة الرملية وربما كان استعمال أساس شبكى على عمق غير كبير أكثر أمناً لأن إجهادات الضغط إذ ذاك على قاع الطبقة الرملية وبدء الطبقة الطينية كان يكون أقل من الترتيب الحالى ولم يقتصر الحال على انضغاط التربة وهبوط المنشأ السريع بل أخذ يميل إلى اليسار لانضغاط الطبقة الطينية بمقادير اختلفت لاختلاف سمكها وهنا يظهر خطأ الاعتماد

على تجربة الخوازيق الفردية

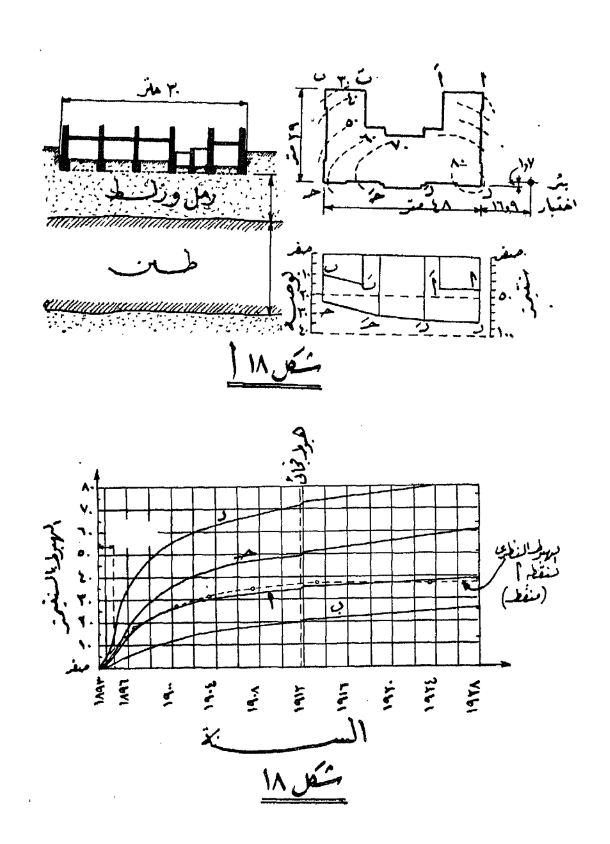
وشكل ١٨ يوضح منشأ أقيم على أساس شبكى مستمر بعرض من ٩٠ر — ٢٠ر١ متر وتتكون التربة تحت المنشأ من طبقة من الرمل والزلط عمقها ٧ متر تحتها طبقة طينية ضعيفة سمكها ٧٥ متر وبعمل تجارب على سطح أساس المنشأ مساحتها ٣٠ × ٣٠ سنتيمتر وتحت ضغط ٤ كج على السنتيمتر المربع كان الهبوط بضعة ملليمترات ومع ذلك فان هذا المنشأ ظل يهبط خلال الأربعين سنة الماضية بمقادير تتراوح ما بين ٣٠ و ٨٠ سنتيمتر ففى شكل ١٨ ا بيانى الهبوط سنة ١٩٢٨ وهناك أيضاً بيانى الهبوط منذ تاريخ الانشاء وسبب الهبوط انضغاط وهروب الطبقة الطينية السميكة مع وقوعها على عمق ٧ متر من السطح ومع أن الضغط لم يتعد ½ كيلوجرام على السنتيمتر المربع

وقد قام الأستاذ ترزاكى بتحليل هذه الحالة سنة ١٩٣١ بأخذ عينات من بئر الاختبار المبينة إلى يمين البناء فى المسقط الأفقى ويلاحظ الاتفاق العجيب بين الهبوط النظرى والهبوط الفعلى للنقطة ا (الهبوط النظرى مبين منقطاً بينما أن الهبوط الفعلى موضح بخطوط مستمرة) غير أن الاختلاف بين المنحنيين واقع فى الجزء الأخير منه فالتجارب تدل على أن الهبوط على وشك الانتهاء مع أنه لا يزال نحو ٨ ملليمترات فى السنة ويلاحظ أيضاً هبوط فجائى نحو سنة ١٩١٢ لم يمكن تعليله إلا أنه قد يكون من أثر زلزلة .

هبوط منشأ مقام على طبقة قوية بواسطة خوازيق لانضغاط طبقة ضعيفة تحتها



شكل رقم ١٧



شكل ١٨ أ

شكل ١٨

سادسا — ملاحظات عامة وكلمة ختامية

يلاحظ مما تقدم أن هذه الطرق المستعملة الآن لاختبار التربة عاجزة عن مساعدة المهندس مساعدة تمكنه من الركون الى أساس المنشأ لان هذه الطرق عرضة فى كثير من الاحيان لاخطاء عديدة وقد سبق شرح كيف أن التجارب الفردية سواء على خوازيق أو على مساحات صغيرة لا تعطى نتائج يصح الاعتماد عليها وكيف أنها قد تضلل المهندس اذا طبق نتائجها على منشآت كبيرة المساحة وغير ذلك من العيوب .

ولما كان هذا الاتجاه الجديد خاصا بالتربة الطينية المشبعة بالمياه وكانت التربة بمصر جلها من هذا النوع كان من الواضح أن هذه الطرق الحديثة ذات قيمة عظيمة لدراسة موضوع أساس المنشآت بمصر دراسة علمية عملية تساعد المهندس مساعدة فعلية وتجعل حسابها حسابا يرتكز على فروض حقيقية عملية .

ولما كان ذلك يقتضى أن يقوم معمل ابحاث تربة الاساسات بتجارب عديدة على التربة المصرية فبديهى أن تعاون المصالح الهندسية بمصر هو الخطوة الاولى للوصول الى تلك الغاية سواء بالتصريح للمعمل أن يقوم باستخراج عينات من التربة المختلفة أو مراقبة ترييح هذه المنشآت .

وهذه المساعدة القيمة التى تستطيع المصالح الهندسية أن تسديها لهذا المعمل هى فى نفس الوقت طريق للنهوض بموضوع الاساسات وسبيل لأن

تشترك مصر مع غيرها من ممالك العالم فى تقدم هذا العلم سيكون بلا شك
موضع تقدير كبار رجال الهندسة فى بلادنا ونرجو أن تكون ثمرة هذا
التعاون أن تزداد معلوماتنا عن هذا الموضوع وهو أمر لا شك أن رجال
الهندسة العمليين والمشتغلين بتدريسها يتعاونون على الوصول اليه انشاء الله .

